- Activité expérimentale -
Premier principe de la thermodynamique
Correction

Partie A : Premier principe de la thermodynamique

Document 1 : Matériel à disposition

Matériel : générateur de tension continue réglable (permet de faire varier le courant électrique), fils électriques de connexion, résistance chauffante immergeable de 6,0 Ω, 2 multimètres pouvant notamment fonctionner en voltmètre ou ampèremètre, chronomètre, calorimètre avec thermomètre et agitateur, bécher de 500 mL, balance.

Document 2 : Documentation technique d'une bouilloire

« Puissance électrique : 1200 W ». Cette bouilloire peut chauffer 200 g d'eau de 20 à 40 °C en moins de 30 secondes.

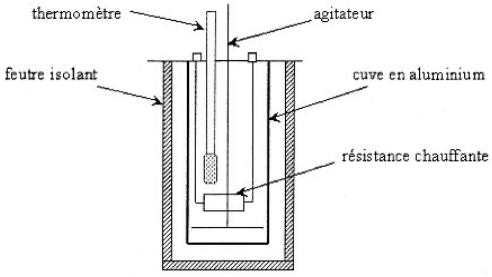
Document 3 : Energie électrique transférée $W_{élec}$

L'énergie électrique transférée est liée à la durée de fonctionnement de l'appareil et à sa puissance :

$$W_{élec} = P_{élec} \times \Delta t = U \times I \times \Delta t = R \times I^2 \times \Delta t \text{ avec}$$

$W_{élec}$ en J, $P_{élec}$ en W, Δt en s, U en V, I en A et R en Ω.

Document 4 : Calorimètre et transfert d'énergie thermique



Un calorimètre est un récipient qui permet d'isoler thermiquement son contenu de l'extérieur du calorimètre. Il peut cependant y avoir des échanges thermiques entre les différents corps placés à l'intérieur du calorimètre. Comme il n'y a aucun échange de chaleur avec l'extérieur, cela implique que la somme des chaleurs échangées Q_i au sein du calorimètre est nulle : $\sum Q_i = 0$ (les transferts thermiques se compensent).

Document 5 : Energie interne et premier principe

L'énergie interne U d'un système macroscopique est égale à la somme de ses énergies microscopiques :

- l'énergie cinétique microscopique, liée à l'agitation thermique des particules qui constituent le système. Elle augmente avec la température du système ;
- l'énergie potentielle microscopique, liée aux interactions entre les particules qui constituent le système.

Premier principe de la thermodynamique : la variation ΔU de l'énergie interne d'un système au repos macroscopique (c'est à dire immobile), qui n'échange pas de matière avec l'extérieur (système fermé) et qui évolue d'un état initial i à un état final f, est égale à la somme des énergies échangées par le système avec l'extérieur, par transfert thermique Q ou travail W :

$$\Delta U = U_f - U_i = Q + W$$

Variation d'énergie interne d'un système incompressible : lorsqu'un système incompressible (solide ou liquide), de masse m, passe d'une température initiale T_i à une température finale T_f sans changer d'état physique, sa variation d'énergie interne a pour expression :

$$\Delta U = U_f - U_i = m \times c \times \Delta T = m\,c\,(T_f - T_i) \text{ avec}$$

ΔU en J, m en kg, T_i et T_f en °C et c la capacité thermique massique du corps en $J.kg^{-1}.°C^{-1}$.

Cette variation ΔU d'énergie interne est positive si le corps s'échauffe et négative si il se refroidit.

Questions :

1-a) Proposer un protocole expérimental permettant d'élever de 2 °C la température de 400 g d'eau dans un calorimètre, en transférant de l'énergie, **que l'on déterminera**, grâce à une résistance chauffante immergeable.

1-b) **Après accord de l'enseignant**, réaliser ce protocole expérimental et le calcul d'énergie correspondant.

1 Exemple de proposition de protocole expérimental :

- On tare le calorimètre, puis on y introduit directement, à l'aide d'une éprouvette graduée, 200 g d'eau.
- On plonge le conducteur ohmique chauffant dans l'eau.
- On mesure et note la température initiale θ_i.
- On branche en série l'ampèremètre et le conducteur ohmique chauffant à la source de tension continue de f.e.m. 6,0 V ; on place un voltmètre en dérivation aux bornes du conducteur ohmique.
- Simultanément, on allume le circuit électrique permettant de chauffer l'eau et l'on déclenche le chronomètre. On note les tension U et intensité I électriques.
- On suit l'évolution de la température en agitant. Lorsque $\theta_f = \theta_i + 5$ °C, on stoppe le chronomètre et on détermine la durée de chauffage Δt.
- D'après les données $W_{élec} = \mathcal{P}_{élec} \times \Delta t = U \times I \times \Delta t$, on peut alors déterminer le travail électrique qui a permis l'élévation de la température de l'eau de 5 °C.

Attention protocole pour 400g d'eau et élevation de température attendue de 2°C

$We = RI^2 \Delta t = 6{,}0*1{,}05*1{,}05*502 = 3321$ J

2-On étudie le système {eau}. Indiquer pour le système :

2-a) si il a reçu ou cédé de l'énergie microscopique ;

2-b) si son énergie interne augmente ou pas ;

2-c) si le transfert d'énergie a eu lieu par travail ou par transfert thermique.

2 • La température du système {eau et calorimètre} a augmenté car l'agitation thermique des entités a augmenté. On en déduit que de l'énergie microscopique cinétique a été reçue par le système.

• L'énergie potentielle d'interactions entre entités qui constituent le système ne varie pas, car le système ne subit pas de transformations physiques (changement d'état) ni de transformations chimique ou nucléaire.

3-On admet que toute l'énergie électrique est intégralement restituée à l'eau par transfert thermique.

3-a) Déduire du premier principe de la thermodynamique la valeur de la variation ΔU d'énergie interne du système {eau} de l'état initial à l'état final.

ΔU = We + Q = We = 3320 J car Q=0, pas d'échange thermique avec extérieur

3 a. D'après le premier principe de la thermodynamique pour le conducteur ohmique : $\Delta U_1 = W_{élec} + Q_1$.
De plus, il est indiqué que toute l'énergie reçue par travail électrique $W_{élec}$ par le conducteur ohmique est restituée sous forme de transfert thermique Q_1 ; soit $W_{élec} = -Q_1$.
Le premier principe de la thermodynamique pour le conducteur ohmique devient : $\Delta U_1 = W_{élec} + Q_1 = 0$.
b. D'après le premier principe de la thermodynamique pour le système {eau et calorimètre} : $\Delta U_2 = Q_2 + W_2$.
Or le système reçoit de l'énergie uniquement par transfert thermique Q_2 cédé par le conducteur ohmique, et n'en transfère pas à l'extérieur car le calorimètre est thermiquement isolé.
Donc $W_2 = 0$ et $Q_2 = -Q_1$; ainsi $\Delta U_2 = -Q_1$ soit $\Delta U_2 = W_{élec}$ ou $\Delta U_2 = U \times I \times \Delta t$.
Exemple de résultats expérimentaux obtenus pour une élévation de température de 4,3 °C :
$U = 6{,}01$ V, $I = 1{,}63$ A, $\theta_i = 24{,}7$ °C, $\theta_f = 29$ °C et $\Delta t = 7$ min 14 s soit 434 s ; $\Delta U_2 = 6{,}0\ \text{V} \times 1{,}61\ \text{A} \times 434\ \text{s} = 4{,}25 \times 10^3$ J.

3-b) Déduire, à partir la variation de température ΔT de l'eau, la valeur de la variation ΔU d'énergie interne du système {eau} de l'état initial à l'état final. On prendra pour la capacité thermique massique de l'eau liquide $c_{eau} = 4185$ J.kg^{-1}.°C^{-1}.

$U = mc_{eau}$ T= 0,4*4185*2 = 3348J

3-c) Comparer les résultats des questions 3-a) et 3-b) et conclure sur la validité de l'hypothèse formulée au début de la question 3.

ecart relatif = 0,8% <<2, les valeurs sont cohérentes.

4-Vérifier quantitativement que l'affirmation figurant sur la documentation technique de la bouilloire du document 2 est correcte.

systeme incompressible

$U = mc_{eau}$ T= 0,2*4185*20=16740 J

t = We/P = mc_{eau} T / P = 16740/1200 = 13,95 s

L'affirmation est vraie